

# PÉRDIDAS DE NITRÓGENO POR VOLATILIZACIÓN Y SU IMPLICANCIA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ EN PERGAMINO (BS AS). EFECTOS DE FUENTE, DOSIS Y USO DE INHIBIDORES.

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris<sup>1</sup>, Lucrecia A. Couretot<sup>1</sup> y Mirta Toribio<sup>2</sup>

1. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. 2. Investigación & Desarrollo Profertil SA  
[nferraris@pergamino.inta.gov.ar](mailto:nferraris@pergamino.inta.gov.ar)

## Introducción

La pérdida de nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco (NH<sub>3</sub>) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante.

En la región pampeana argentina, los cultivos de gramíneas son habitualmente fertilizados con fuentes nitrogenadas sólidas y líquidas. Existen datos locales sobre las pérdidas por volatilización<sup>2</sup> que pueden sufrir dichas fuentes, pero se trata de casos puntuales por lo que la dimensión geográfica y temporal de estas evaluaciones requiere ser ampliada. En los últimos años, se le han agregado a la urea moléculas inhibitoras de la enzima ureasa, que cataliza el proceso de volatilización. La eficacia de estos inhibidores debe ser evaluada localmente.

El objetivo de este trabajo fue comparar las pérdidas gaseosas en forma de NH<sub>3</sub> y el rendimiento de maíz entre tratamientos que recibieron distintas fuentes nitrogenadas, inhibidores de la volatilización y dosis de N. Hipotetizamos que las pérdidas de N pueden ser minimizadas a través de una adecuada combinación de fuente, dosis y uso de inhibidores.

## Materiales y métodos

El ensayo fue conducido en la localidad de Pergamino, sobre un suelo serie Pergamino, Argiudol típico, Clase de uso 1 de muy buena productividad. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones y siete tratamientos, los cuales se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Detalle de fuentes y dosis de N para cada tratamiento evaluado en la localidad de Pergamino. Campaña 2008/09.

| Nº | Tratamiento                              | Dosis de N (kg Nha <sup>-1</sup> ) |
|----|--|------------------------------------|
| T1 | Testigo                                  |                                    |
| T2 | Urea granulada (Urea)                    | 60                                 |
| T3 | Urea granulada (Urea)                    | 120                                |
| T4 | Urea+NBPT                                | 60                                 |
| T5 | Urea+NBPT                                | 120                                |
| T6 | Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN) | 60                                 |
| T7 | Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN) | 120                                |

El ensayo se sembró el día 10 de octubre de 2008 en SD, con antecesor trigo/soja, utilizando el híbrido Syngenta NK 910. Todas las parcelas fueron fertilizadas a la siembra con fósforo (P) y azufre (S), a dosis de 20 kg P ha<sup>-1</sup> y 18 kg S ha<sup>-1</sup>. Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple de calcio (0-20-0) y sulfato de calcio (0-0-0-S18). Urea + NBPT es un fertilizante en el cual la urea (46-0-0) fue tratada previo a su aplicación con NBPT - *n* (*n*-butyl) *t*iamida *t*iofosfórica, el cual actúa bloqueando la enzima

ureasa por el término de diez días aproximadamente (Trenkel, 1997; Watson, 2000). Por su parte, el análisis de suelo del sitio experimental se presenta en la Tabla 2. Se destaca un nivel de materia orgánica y N relativamente bajo, normal de P y muy bajo de S.

**Tabla 2.** Análisis de suelo al momento de la siembra.

| Prof. (cm) | MO (%) | pH  | Ntotal | N-NO3 ppm | N-NO3 kg/ha | P-Bray | S-SO4 | K     | Mg  | Ca     |
|------------|--------|-----|--------|-----------|-------------|--------|-------|-------|-----|--------|
|            |        |     |        |           |             | ppm    |       |       |     |        |
| 0-20       | 2.53   | 5.8 | 1.26   | 10.0      | 26.0        | 18.8   | 1.7   | 508.3 | 122 | 1717.3 |
| 20-40      |        |     |        | 8.3       | 21.7        |        |       |       |     |        |
| 40-60      |        |     |        | 4.2       | 10.8        |        |       |       |     |        |

Para determinar el N-NH<sub>3</sub> volatilizado, se utilizó el método de sistema de absorción semiabierto estático, adaptado del propuesto por Nommik (1973) y utilizado por Videla (1994). El mismo consiste en atrapar el N-NH<sub>3</sub> por medio de un cilindro de polietileno de 30 cm de diámetro por 50 cm de altura, con dos planchas de poliuretano de 1.5 cm de espesor en su parte superior (Figura 1). A causa de la ausencia de precipitaciones que interrumpieran el proceso, las determinaciones de N-NH<sub>3</sub> volatilizado se realizaron durante nueve días consecutivos desde la aplicación del fertilizante.



**Figura 1.** Medición de emisiones de N en forma de NH<sub>3</sub>, INTA EEA Pergamino, noviembre de 2008.

En floración plena (estado R2), se evaluaron la intensidad de verdor mediante Spad, la altura de plantas e inserción de la espiga principal y el número de hojas verdes y senescentes. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Sobre una muestra de cosecha se midieron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias. Se modelaron las covariancias por tratamiento para el N total volatilizado en 9 días.

## Resultados y discusión

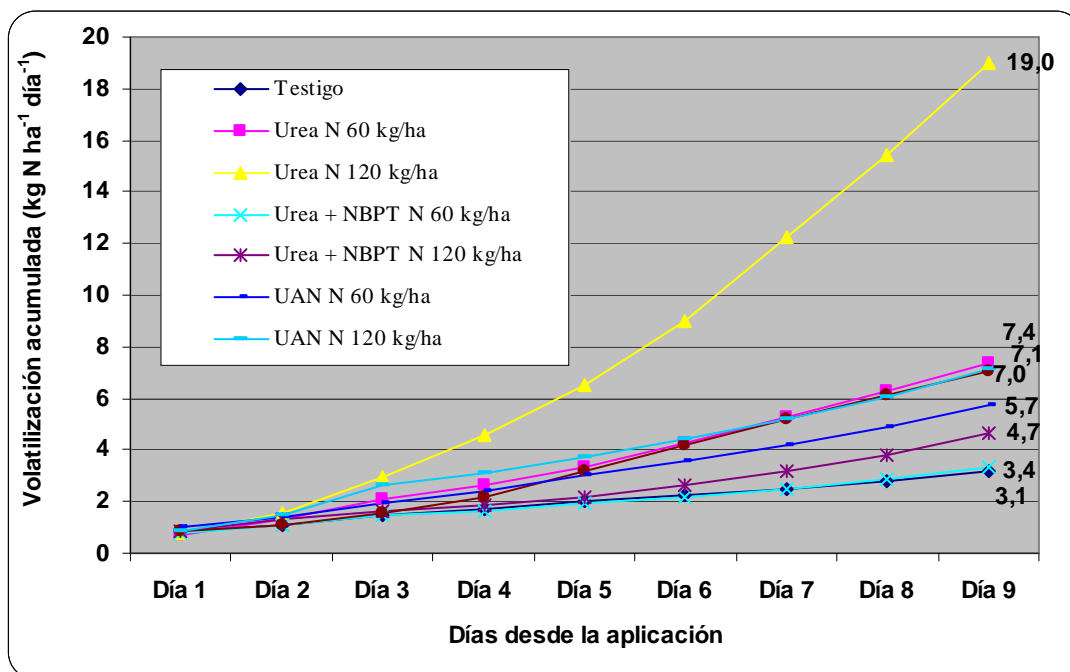
En la Tabla 3 se visualizan las condiciones ambientales en los días posteriores a la aplicación de los fertilizantes, momento en que se cuantificaron las pérdidas gaseosas de N en forma de NH<sub>3</sub>. Se caracterizaron por presentar elevadas temperaturas, alta insolación, viento predominante del sector norte y baja humedad relativa. Además, la cobertura del sitio era del 75 % (método de la recta transecta), compuesta por residuos de trigo y soja que no superaron los 2 cm de espesor. Estos factores configuraron un ambiente favorable a la ocurrencia del proceso de volatilización, por lo que las emisiones medidas podrían considerarse muy cercanas al máximo probable para la localidad de estudio.

**Tabla 3:** Registros ambientales diarios (17 al 26 de noviembre) de nueve días posteriores a la aplicación de los fertilizantes. Pergamino, campaña 2008/09.

|                   | Días desde la aplicación de los fertilizantes |       |       |       |       |       |        |       |       |       |
|-------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                   | Día 0   | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6  | Día 7 | Día 8 | Día 9 |
| T Max (C°)        | 30.2  | 32.3  | 33.0  | 32.0  | 31.4  | 33.7  | 36.0   | 34.0  | 38.0  | 27.2  |
| T Media (C°)      | 19.5  | 22.9  | 24.6  | 24.7  | 23.7  | 25.0  | 27.5   | 27.0  | 27.0  | 24.0  |
| T mínima (C°)     | 8.8   | 13.5  | 16.2  | 17.4  | 16.0  | 16.2  | 19.0   | 20.0  | 16.0  | 20.7  |
| Ppciones (mm)     |   |       |       |       |       |       |        |       |       | 2.5   |
| Heliofanía (hs)   | 13.0  | 10.7  | 11.7  | 11.6  | 12.7  | 12.1  | 12.9   | 2.1   | 11.8  | 3.1   |
| Vel viento (km/h) | 8.7   | 11.2  | 13.1  | 12.9  | 14.5  | 17.0  | 11.6   | 5.2   | 7.7   | 6.3   |
| Dirección viento  | NNNE  | EENE  | NNENE | ENENE | EENE  | NNENE | EENENE | SSSE  | ENENE | EENE  |
| HR (%)            | 49.5  | 48.5  | 51.5  | 53.5  | 50.5  | 52.5  | 45.5   | 57.5  | 58.5  | 73.0  |

La emisión de NH<sub>3</sub> fue detectable desde el inicio del ensayo, pero sólo se evidenciaron diferencias entre tratamientos a partir del tercer día (Figura 2). Nótese que aún el testigo sin fertilización mostró pérdidas cuantificables de N, superiores a las observadas por otros investigadores (Sainz Rozas et al., 1997; Barbieri et al., 2005) y aún en localidades ubicadas al norte de Pergamino como Oliveros (Salvagiotti, 2005) o Rafaela (Fontanetto et al., 2001). Esto muestra la singular severidad ambiental bajo la cual se realizaron las mediciones.

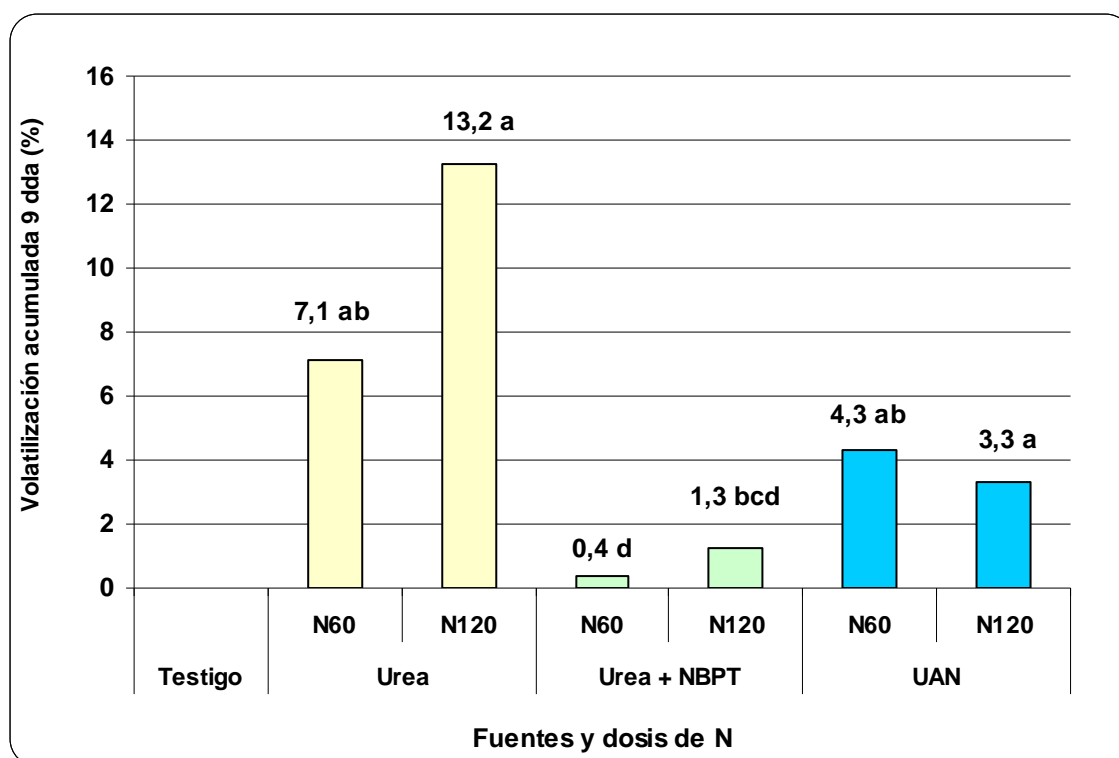
Hubo diferencias significativas entre tratamientos para la variable volatilización acumulada de N ( $P < 0.001$ ). Las pérdidas por volatilización no difirieron entre Urea sola y UAN (cualquier dosis) y superaron significativamente al testigo (Figuras 2 y 3). El inhibidor NBPT agregado a la Urea logró mitigar casi en forma completa las pérdidas, no difiriendo significativamente del testigo. La reacción además fue favorecida por la concentración del sustrato. Es decir, al incrementar la dosis de fertilizante, las pérdidas porcentuales aumentaron. Esto sucede por la saturación de la capacidad buffer de amonio (NH<sub>4</sub>), limitada en este caso por el bajo contenido de materia orgánica del suelo (Tabla 2).



**Figura 2.** Emisión acumulada de nitrógeno ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) en forma de  $\text{NH}_3$  a lo largo del experimento. Pergamino, campaña 2008/09.

Las pérdidas máximas se alcanzaron para la dosis de N120 agregados como Urea, siendo de  $19 \text{ kg N ha}^{-1}$ , respectivamente. Para calcular el N perdido desde el fertilizante se deben restar los  $3.14 \text{ kg N ha}^{-1}$  capturados en el testigo. Así calculadas, las pérdidas de N proveniente de los fertilizantes alcanzarían un rango de 0.4 a 13.2 %, respectivamente (Figura 3).

En Balcarce, Barbieri et al. (2005) registraron pérdidas máximas de  $16 \text{ kg N ha}^{-1}$  (N120 - Urea al voleo). En Oliveros, Salvagiotti (2005) midió emisiones de hasta  $16 \text{ kg N ha}^{-1}$  (N200 - Urea al voleo), mientras que en Rafaela, Fontanetto et al., (2006) cuantificaron la volatilización en trigo en  $5.8 \text{ kg N ha}^{-1}$ . En esta localidad, las pérdidas en el mes de octubre sobre un experimento de maíz alcanzaron entre 14 % (N80 - urea al voleo, rastrojo bajo) y 21 % (N80 - urea al voleo, rastrojo alto) y en noviembre un rango de 26 a 36 para igual dosis, fuente y cobertura, respectivamente. Durante la campaña 2008/09, las condiciones ambientales de Pergamino se asemejaron a las que predominan en localidades ubicadas más al norte, favoreciendo la sobreexpresión del proceso de volatilización. Es de esperar que en un año con registros medios de temperatura y humedad, las pérdidas de N alcancen valores intermedios a los determinados en la región pampeana sur (Balcarce) y norte (Oliveros o Rafaela).



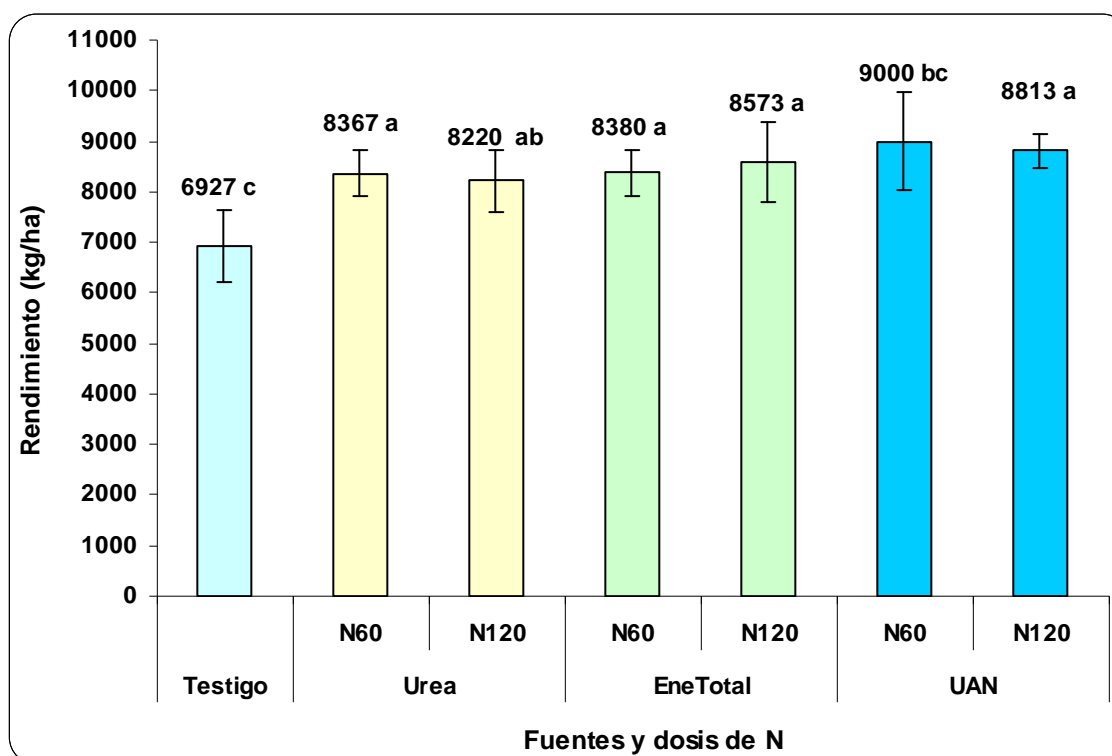
**Figura 3.** Porcentajes acumulados de pérdidas de N de los fertilizantes al noveno día desde la aplicación de los fertilizantes. Las pérdidas de N del tratamiento sin fertilizante (testigo) fue restado del resto de los tratamientos fertilizados. El ANOVA y las diferencias entre medias fueron hechas sobre los valores absolutos de las pérdidas acumuladas de N ( $\alpha = 0.10$ ). Pergamino, campaña 2008/09.

Los tratamientos se manifestaron claramente en parámetros simples de cultivo (Tabla 4), que en alguna medida anticiparon lo que sucedería más tarde en los rendimientos. El testigo mostró síntomas claros de deficiencias de N. Las diferencias entre dosis se manifestaron en variables como las lecturas Spad o el número de hojas verdes en floración. Esta medida fue especialmente sensible, marcando diferencias entre dosis para aquellas fuentes que sufrieron pérdidas de menor magnitud, es decir, que lograron absorber el N aplicado.

**Tabla 4.** Índice de verdor (Unidades Spad), número de hojas verdes y secas, altura de plantas y de inserción de espigas. Evaluación de fuentes, dosis y uso de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz. Pergamino, campaña 2008/09.

| Nº | Tratamiento | Lecturas Spad | Número hojas senescidas R1 | Número hojas verdes R1 | Altura plantas (cm) | Altura inserción (cm) |
|----|-------------|---------------|----------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| T1 | Testigo     | 39.0          | 6                          | 10                     | 205                 | 110                   |
| T2 | Urea 60     | 40.8          | 5                          | 12                     | 233                 | 110                   |
| T3 | Urea 120    | 43.5          | 4                          | 13                     | 230                 | 105                   |
| T4 | Urea + NBPT | 39.7          | 5                          | 12                     | 238                 | 125                   |
| T5 | Urea + NBPT | 42.2          | 3                          | 14                     | 230                 | 120                   |
| T6 | UAN 60      | 41.1          | 4                          | 13                     | 225                 | 105                   |
| T7 | UAN 120     | 44.4          | 2                          | 15                     | 230                 | 120                   |

Se determinaron diferencias en rendimiento entre tratamientos ( $P=0.003$ ;  $CV=6.7\%$ ). El testigo se diferenció claramente del resto (Figura 4). En general, la dosis menor (N60) permitió alcanzar el rendimiento máximo para todas las fuentes. La sequía que imperó durante la campaña limitó los rendimientos y con ello la capacidad de respuesta a N, impidiendo así que el agregado de N120 se manifestara por sobre la dosis inferior.



**Figura 4.** Rendimiento en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de diferentes dosis, fuentes y tratamientos con inhibidores de la volatilización de N en maíz. Letras distintas en las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $\alpha=0.05$ ). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media. Pergamino, campaña 2008/09.

## Conclusiones

Se registraron pérdidas moderadas de N por volatilización bajo las condiciones predisponentes en la localidad de Pergamino. Estas alcanzaron un rango de 3 a 19  $\text{kg N ha}^{-1}$  y podrían considerarse muy próximas al máximo esperable para la localidad.

La magnitud de las pérdidas de N por volatilización fue afectada por la fuente, la dosis y el uso de inhibidores. Las mayores pérdidas se observaron con la aplicación de urea, promediando 7.1 y 13.2 % para las dosis de N60 y N120. La aplicación de UAN redujo las pérdidas pero éstas no fueron significativamente distintas a la aplicación de Urea, promediando 4.3 y 3.3 % (N60 y N120, respectivamente). La presencia del inhibidor NBPT en la urea fue muy efectiva para reducir la producción de  $\text{NH}_3$  a niveles similares al testigo. Las pérdidas de las dosis N60 y N120 para este último tratamiento fueron de 0.4 y 1.3%, respectivamente.

El rendimiento reflejó efecto de tratamiento, el cual siguió la tendencia de las pérdidas por volatilización y se asoció a variables simples que reflejaron el grado de nutrición nitrogenada, como el índice de verdor (Spad), el número de hojas verdes y secas, la altura de plantas y de inserción de espigas. No obstante, el rendimiento máximo se alcanzó con la dosis de N60, lo cual se atribuye a una limitación en los rendimientos y a la baja demanda de N causada por el estrés hídrico.

Los resultados reflejan la factibilidad de alcanzar elevadas EUN y reducir las pérdidas con una variedad de estrategias de fertilización. La utilización de inhibidores de la volatilización brinda una herramienta de manejo adicional a las ya conocidas –incorporación mecánica, proximidad de lluvias– ampliando el espectro de fuentes nitrogenadas que pueden utilizarse en forma segura y confiable.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por Profertil S.A. y el Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, INTA.

## **Bibliografía**

**Barbieri P.A., H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas.** 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización en el cultivo de maíz en función de la fuente, dosis y métodos de colocación del fertilizante. Convenio INTA Balcarce - Profertil, 2004/05.

**Fontanetto H. y O. Keller.** 2006. Manejo de la fertilización en Maíz. Experiencias en la Región Pampeana Argentina. En: Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 106. pp 85-113 INTA EEA Rafaela.

**Nommik H.** 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant Soil. 39:309-318.

**Sainz Rozas H., H.E. Echeverría, G.A. Studdert y F.H. Andrade.** 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. Ciencia del Suelo 15: 12-16

**Trenkel M.E.** 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. 151 p

**Videla C.C.** 1994. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. EEA Balcarce INTA Bol. Tec. 131, 16 p.

**Salvagiotti F.** 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. EEA INTA Oliveros. Convenio INTA Oliveros - Profertil, 2004/05

**Watson C.J.** 2000. Urease activity and inhibition. Principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding N° 454. 39 p